

# ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК

БАБЕНКО В. А.

УДК 330.46:519.86

## Бабенко В. А. Формирование динамической модели многокритериальной оптимизации управления инновационными процессами перерабатывающих предприятий АПК

Исследованы теоретические основы и совершенствование методов динамического моделирования управления инновационными процессами перерабатывающих предприятий АПК, разработана динамическая задача многокритериальной оптимизации управления инновационными процессами перерабатывающих предприятий и общие подходы к ее решению.

**Ключевые слова:** динамическая модель, многокритериальная оптимизация, оптимизация управления, векторная целевая функция, метод скаляризации, инновационные процессы, перерабатывающее предприятие АПК.

**Формул:** 9. **Библ.:** 7.

**Бабенко Виталина Алексеевна** – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры экономической кибернетики, Харьковский национальный аграрный университет им. В. В. Докучаева (Харьковская обл., Харьковский район, п/о «Коммунист-1», 62483, Украина)

**E-mail:** vitalina\_babenko@meta.ua

УДК 330.46:519.86

UDC 330.46:519.86

## Бабенко В. О. Формування динамічної моделі багатокритеріальної оптимізації управління інноваційними процесами переробних підприємств АПК

Досліджено теоретичні засади та вдосконалення методів динамічного моделювання управління інноваційними процесами переробних підприємств АПК, розроблено динамічну задачу багатокритеріальної оптимізації управління інноваційними процесами переробних підприємств і загальні підходи до її рішення.

**Ключові слова:** динамічна модель, багатокритеріальна оптимізація, оптимізація управління, векторна цільова функція, метод скаляризації, інноваційні процеси, переробні підприємства АПК.

**Формул:** 9. **Бібл.:** 7.

**Бабенко Віталіна Олексіївна** – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри економічної кібернетики, Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва (Харківська обл., Харківський район, п/в «Комуніст-1», 62483, Україна)

**E-mail:** vitalina\_babenko@meta.ua

## Babenko V. A. Formation of a Dynamic Model of Multi-Criteria Optimisation of Management of Innovation Processes of Processing Enterprises of the Agro-Industrial Complex

The article studies theoretical foundations and improvement of methods of dynamic modelling of management of innovation processes of processing enterprises of the agro-industrial complex, development of a dynamic task of multi-criteria optimisation of management of innovation processes of processing enterprises and general approaches to its solution.

**Key words:** dynamic model, multi-criteria optimisation, optimisation of management, vector target function, scalarisation method, innovation processes, processing enterprise of the agro-industrial complex.

**Formulae:** 9. **Bibl.:** 7.

**Babenko Vitalina A.** – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Candidate on Doctor Degree, Department of Economic Cybernetics, Kharkiv National Agrarian University named after V. V. Dokuchaev (Kharkivska obl., Kharkivskyi rayon, p/v «Komunist-1», 62483, Ukraine)

**E-mail:** vitalina\_babenko@meta.ua

Современное перерабатывающее предприятие агропромышленного комплекса (АПК) является сложным многофакторным и многостадийным объектом управления, состоящим из большого числа взаимосвязанных подсистем, имеющих отношения соподчиненности в виде иерархической структуры. Иерархическая система управления является сугубо многокритериальной, что приводит к необходимости дополнительного уточнения понятия оптимального поведения. В сложных системах управления с заданной иерархической структурой при решении оптимизационных задач между подсистемами разных уровней возникают конфликтные ситуации, разрешение которых приводит к задаче выбора компромиссных стратегий. Решение этой задачи тесно связано с проблемой принятия решений с учетом различных критериев оптимальности.

Исследование и решение задачи управления инновационными процессами перерабатывающих предприятий (УИПП) АПК требует разработки динамической экономико-математических модели при наличии управ-

ляющих воздействий, неконтролируемых параметров (рисков, погрешностей моделирования и др.), дефицита информации с учетом различных критериев качества рассматриваемых процессов [1]. В качестве критериев для оптимизации могут выбираться различные экономические показатели, например, общая прибыль, прибыль на одного работника, затраты сырья, энергоемкость, фондоотдача и др. А также с учетом специфики инновационных процессов необходимо включать критерии качества управления инновационной деятельностью, такие как, например, экологическая безопасность инновационных продуктов, показатели экономической эффективности внедрения инновационных процессов, рентабельность инновационного процесса, продолжительность жизненного цикла инновационного продукта, социальная эффективность инновационной деятельности предприятия и др.

Необходимость предоставления лицу, принимающему решение, информации о возможных реализациях состояния инновационного процесса в течение

выбранного периода времени делает актуальным моделирование динамической задачи многокритериальной УИПП АПК с целью выбора оптимального управления.

Вопросами экономико-математического моделирования и оптимального управления в экономике занимались такие ученые, как Беллман Р., Болтянский В. Г., Бусленко Н. П., Глушков В. М., Интрилигатор М., Канторович Л. В., Лотов А. В., Первозванский А. А., Понтрягин А. С., Пропой А. И., Таха Х., Тер-Крикоров А. М., Томас Р., Ширяев А. Н., Чхартишвили А. Г. и многие другие.

Работы Альбрехта Э. Г., Гольдштейна С. Л., Дуброва А. М., Емельянова А. А., Зайнашева Н. К., Лагоши Б. А., Попова Е. В., Соколова Р. В., Татаркина А. И., Хрусталева Е. Ю., Ширяева В. И., Шорикова А. Ф. и др. посвящены методам моделирования динамических бизнес-процессов.

Исследованию вопросов многокритериальной оптимизации в своих работах уделяли внимание такие ученые, как Борисов А. Н., Брахман Т. Р., Верстниин И. С., Вилкас Э. Й., Дубоис Д., Заде Л. А., Майминас Е. В., Негота С., Праде Х., Рамеш Дж., Токарев В. В., Тонг Р., Ханнан Е., Харрингтон Е. С., Язенин А. В., Ягер Р.

В этих работах были изучены вопросы ранжирования частных критериев многокритериальной оптимизации, подходы к формализации субъективных неопределенностей в многокритериальных задачах, методы формализации описания нечетких, качественных характеристик. В настоящее время большинством исследователей также достаточно полно представлены методы решения задач с множеством критериев оптимизации, однако вопросам динамики моделирования задач многокритериальной оптимизации применительно к УИПП АПК уделено недостаточно внимания, чем и обусловлена актуальность темы исследования.

Цель исследования в статье состоит в изучении теоретических основ и совершенствование методов решения задачи УИПП АПК, формировании ее динамической модели, разработке динамической задачи многокритериальной оптимизации и нахождении путей решения с помощью скалярной свертки векторного функционала качества исследуемого процесса.

Рассмотрим экономико-математическую модель динамики УИПП АПК.

**Н**а заданном целочисленном промежутке времени  $\overline{0, T} = \{0, 1, \dots, T\}$  ( $T > 0$ ) рассматривается многошаговая динамическая система УИПП, которая состоит из одного управляемого объекта (перерабатывающего предприятия АПК), движение которого описывается линейным дискретным рекуррентным векторным уравнением вида (динамическая модель) [2]:

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + C(t)v(t), x(0) = x_0, \quad (1)$$

где  $x(t) \in \mathbf{R}^n$  – вектор фазовых переменных, или фазовый вектор – набор основных параметров, описывающих состояние УИПП АПК в момент времени  $t$ ;  $\mathbf{R}^n$  –  $n$ -мерное евклидово пространство векторов-столбцов,  $n \in \mathbf{N}$  – множество натуральных чисел;  $t \in \overline{0, T-1} = \{0, 1, 2, \dots, T-1\}$  – момент времени, определяющий временной период (например, месяц, квартал, год), на котором осу-

ществляется выбор управления;  $\overline{0, T}$  – заданный целочисленный промежуток времени ( $T > 0$  и целочисленное).

Обозначим через  $x(t+1)$  вектор объемов продукции на предприятии к концу периода времени  $t, t+1$  (запасы продукции в момент времени  $t+1$ ). Эта величина формируется на основании наличия:

– остатков нереализованной продукции к моменту времени  $t+1$  (если в начале периода на предприятии имелись запасы в количестве  $x(t)$ , то к концу этого периода останется ее нереализованная часть, равная

$A(t)x(t)$ ); где  $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))' \in \mathbf{R}^n$  – фазовый вектор, характеризующий состояние системы в момент времени  $t$  (вектор запасов продукции в момент  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ), у которого каждая  $i$ -тая координата  $x_i(t)$  есть значение объема продукции  $i$ -го вида  $i \in \overline{1, n}$  ( $n$  – общее количество видов выпускаемой продукции);  $n \in \mathbf{N}$ ,  $\mathbf{N}$  – множество всех натуральных чисел);  $\mathbf{R}^n$  –  $n$ -мерное векторное пространство векторов-столбцов;  $A(t) = \|a_{ij}(t)\|_{i \in \overline{1, n}, j \in \overline{1, n}}$  – диагональная матрица, характеризующая реализацию (матрица «реализации») продукции за период времени  $t, t+1$ ;

– изготовленной продукции в период времени  $t, t+1$  (вектор  $B(t)u(t)$ ), где  $B(t)$  – «технологическая матрица» производства, в которой каждый  $j$ -й способ организации производства ( $j \in \overline{1, p}$ ) в период времени  $t, t+1$  характеризуется вектором  $\{b_{1j}(t), b_{2j}(t), \dots, b_{nj}(t)\}$ : если  $b_{ij}(t) < 0$ , то величина  $b_{ij}(t)$  определяет затраты  $i$ -го ингредиента ( $i \in \overline{1, n}$ ) при  $j$ -м способе производства; если  $b_{ij}(t) > 0$ , то величина  $b_{ij}(t)$  определяет выпуск  $i$ -го ингредиента при  $j$ -м способе производства.

$u(t) = \{u_1(t), u_2(t), \dots, u_j(t), \dots, u_p(t)\} \in \mathbf{R}^p$  – вектор управляющего воздействия (вектор управления), каждая  $j$ -я компонента которого  $u_j(t) \in \mathbf{R}^1$  есть интенсивность использования  $j$ -го технологического способа производства в период времени  $t, t+1$  ( $j \in \overline{1, p}$ ;  $p \in \mathbf{N}$ ); удовлетворяет заданному ограничению:

$$u(t) \in U_1 \subset \mathbf{R}^p, \quad (2)$$

где  $U_1$  – конечное множество векторов, т. е. конечный набор векторов в  $\mathbf{R}^p$ , определяющих все возможные реализации различных сценариев управления в момент времени  $t$ ;  $p \in \mathbf{N}$ ;

– слагаемого, учитывающего влияние рисков, неопределенности или погрешности моделирования на производимую и имеющуюся в наличии продукцию в период времени  $t, t+1$  (вектор  $C(t)v(t)$ ), где

$C(t) = \|c_{il}(t)\|_{i \in \overline{1, n}, l \in \overline{1, q}}$  – есть матрица, состоящая из коэффициентов пересчета уровня влияния вектора рисков на выпускаемую и имеющуюся в наличии продукцию каждого вида, т. е. на процесс формирование вектора  $x(t+1)$ .

$v(t) = \{v_1(t), v_2(t), \dots, v_q(t)\} \in \mathbf{R}^q$  – вектор рисков (например, недопоставки материалов, неплатежи, порча сельскохозяйственной продукции при хранении или транспортировке, несоответствие требований к

качеству сельскохозяйственного сырья или готовой продукции и др. [3]), *влияющих на процесс реализации УИПП АПК*, удовлетворяет заданному ограничению:

$$v(t) \in V_1 \subset \mathbf{R}^q, \quad (3)$$

где  $V_1$  – выпуклый, замкнутый и ограниченный многогранник пространства  $\mathbf{R}^q$ , т. е. множество, которое *ограничивает возможные значения реализации вектора рисков* в момент времени  $t$ ;  $q \in \mathbf{N}$ ;

$A(t)$ ,  $B(t)$  и  $C(t)$  – матрицы размерностей  $(n \times n)$ ,  $(n \times p)$  и  $(n \times q)$ , соответственно, определяющие динамику УИПП АПК, элементы которых находятся путем решения задачи *апостериорной идентификации* [4, 5].

Предполагается, что субъекту управления также известны уравнение (1) и ограничения (2), (3). Рассматриваемый процесс управления оценивается значением выпуклого функционала  $\gamma: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^1$ , определенного на возможных реализациях фазового вектора  $x(T) \in \mathbf{R}^n(T)$  системы в финальный момент времени  $T$ . Пусть на основании ограничений (2) и (3)

$$U(0, T) = \{u_T(\cdot): u_T(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in \mathbf{R}^{(p \times T)}\} \quad (4)$$

$$\forall t \in \overline{0, T-1}, u(t) \in U_1\}$$

есть множество всех допустимых реализаций *программных управлений*  $u_T(\cdot)$  (всех возможных сценариев реализации управления) на целочисленном промежутке времени  $0, T$ , которое является конечным множеством;

$$V(0, T) = \{v_T(\cdot): v_T(\cdot) = \{v(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in \mathbf{R}^{(q \times T)}\}, \quad (5)$$

$$\forall t \in \overline{0, T-1}, v(t) \in V_1\}$$

есть множество всех допустимых реализаций *вектора рисков*  $v_T(\cdot)$  (всех возможных сценариев реализации вектора рисков) на целочисленном промежутке времени  $0, T$  [3].

Выберем конкретное допустимое программное управление

$$u_T^*(\cdot) = \{u^*(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in U(0, T),$$

$$\forall t \in \overline{0, T-1}: u^*(t) \in U_1,$$

из конечного множества  $U(0, T)$  всех допустимых программных управлений  $u_T(\cdot)$  на промежутке времени  $0, T$ .

Тогда при реализации фиксированных и допустимых программного управления  $u_T^*(\cdot) \in U(0, T)$  и вектора рисков  $v_T^*(\cdot) \in V(0, T)$ , в силу многошагового уравнения (1) реализуется следующая траектория рассматриваемой системы:

$$\forall t \in \overline{0, T-1}: x^*(t+1) = A(t)x^*(t) + B(t)u^*(t) + C(t)v^*(t), \quad x^*(0) = x_0, \quad (6)$$

где  $x^*(T) = x_{0,T}^*(T; x_0, u_T^*(\cdot), v_T^*(\cdot))$  – есть состояние в момент времени  $T$  траектории рассматриваемого процесса УИПП, порожденной системой (1) – (3) и соответствующей набору  $(x_0, u_T^*(\cdot), v_T^*(\cdot))$ , т. е. финальное ее состояние.

Предположим, что для всех допустимых реализаций наборов  $(x_0, u_T(\cdot), v_T(\cdot))$ ,  $x(0) = x_0, u_T(\cdot) \in U(0, T)$  и  $v_T(\cdot) \in V(0, T)$  качество процесса управления в системе (1) – (3), описывающей УИПП, предлагается оценивать, например, *векторным терминальным функционалом (показателем качества процесса)*  $\Phi = (\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_r)$ , представляющим из себя набор из  $r$  выпуклых функционалов  $\Phi_i, i \in \overline{1, r}$ , значения которых оценивают качество процесса УИПП и определяются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \Phi_i(x_0, u_T(\cdot), v_T(\cdot)) &= \\ &= F_i(x_{0,T}^*(T; x_0, u_T(\cdot), v_T(\cdot))) = F_i(x(T)), \quad i \in \overline{1, r}, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $F_i: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^1$  – выпуклый функционал для каждого  $i \in \overline{1, r}$ ;  $x(T) = x_{0,T}^*(T; x_0, u_T(\cdot), v_T(\cdot))$ .

Таким образом, на основании соотношений (1) – (3) и (7) имеем *динамическую модель многокритериальной оптимизации УИПП АПК*.

Рассмотрим возможные критерии оптимизации рассматриваемой задачи:

- ★ максимальный объем выручки продукции, произведенной на основе инновационной технологии ( $f_1$ );
- ★ максимум валовой прибыли продукции, произведенной на основе инновационной технологии ( $f_2$ );
- ★ максимум значения противоположного значению себестоимости продукции, выпускаемой на основе инновационной технологии ( $f_3$ ), который совпадает с минимумом себестоимости продукции, а также показатель эффективности инновационного процесса;
- ★ максимальный прирост прибыли от производства продукции на основе инновационной технологии ( $f_4$ );

$$\begin{cases} f_1 = \langle y, x \rangle_n \rightarrow \max, \\ f_2 = \langle y - c, x \rangle_n \rightarrow \max, \\ f_3 = -\langle c, x \rangle_n \rightarrow \max, \\ f_4 = \langle p, x \rangle_n - P_{np} \rightarrow \max, \end{cases} \quad (8)$$

где  $x(T) = (x_1(T), x_2(T), \dots, x_n(T)) \in \mathbf{R}^n$ , а  $x_i$  – планируемый объем продукции  $i$ -го наименования, выпускаемой на основе инновационной технологии ( $i \in \overline{1, n}$ ) на финальный момент времени  $T$ ;

$y_i$  – цена единицы продукции  $i$ -го наименования, выпускаемой на основе инновационной технологии;

$c = (c_1, c_2, \dots, c_n) \in \mathbf{R}^n$  – вектор цен, а  $c_i$  – себестоимость единицы продукции  $i$ -го наименования, выпускаемой на основе инновационной технологии;

$p = (p_1, p_2, \dots, p_n) \in \mathbf{R}^n$  – вектор прибыли, а  $p_i$  – прибыль единицы продукции  $i$ -го наименования, выпускаемой на основе инновационной технологии;

$P_{np}$  – прибыль от производства продукции, выпускаемой на основе старой технологии за аналогичный предшествующий период, ( $i \in \overline{1, n}$ ), а для любых натуральных чисел  $k \in \mathbf{N}$  и векторов  $s, z \in \mathbf{R}^k$  символом  $\langle s, z \rangle_k$  обозначается их скалярное произведение.

В данной многокритериальной задаче (1) – (3), (8) необходимо найти наилучшее решение, руководствуясь пятью различными целями, описываемыми (8).

На основании введенных соотношения (7) и (8) целевых функций  $f_i$  ( $i \in \overline{1, 4}$ ) для оценки качества рассматриваемого процесса УИПП АПК введем в рассмотрение целевую функцию  $F(x_0, u_T(\cdot), v_T(\cdot))$ , значения которой для всех допустимых на промежутке времени  $\overline{0, T}$  реализаций наборов  $(x_0, u_T(\cdot), v_T(\cdot))$ , где

$$u_T(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in U(\overline{0, T})$$

и 
$$v_T(\cdot) = \{v(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in V(\overline{0, T})$$

определяются в соответствии со следующим соотношением:

$$\begin{aligned} F(x_0, u_T(\cdot), v_T(\cdot)) &= \sum_{i=1}^r \mu_i \cdot \Phi_i(x_0, u_T(\cdot), v_T(\cdot)) = \\ &= \sum_{i=1}^r \mu_i \cdot F_i(x_{0,T}(T; x_0, u_T(\cdot), v_T(\cdot)) = \\ &= \sum_{i=1}^r \mu_i \cdot F_i(x(T)) = \sum_{i=1}^4 \mu_i \cdot f_i(x(T)) = \gamma(x(T)), \\ \forall i \in \overline{1, 4} : \mu_i &\geq 0, \quad \sum_{i=1}^4 \mu_i = 1, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $x(T) = (x_{0,T}(T; x_0, u_T(\cdot), v_T(\cdot))$ , а  $\gamma$  – есть функционал, введенный ранее.

Отметим, что целевая функция  $F(x_0, u_T(\cdot), v_T(\cdot))$  является выпуклой скалярной сверткой векторного функционала  $\Phi = (\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_r)$ , т. е. она формируется в соответствии с методом скаляризации векторных целевых функций ([6]), с неотрицательными весовыми коэффициентами  $\mu_i$ ,  $i \in \overline{1, r}$ , которые могут определяться, например, экспертным путем или на основании знания статистической информации об истории реализации основных параметров рассматриваемого процесса.

## ВЫВОДЫ

Отметим, что с помощью функционала  $\Phi = (\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_r)$ , на основании соотношения (7), определяющего его значения, можно оценивать также и влияние ущерба, который возможен при реализации конкретного вектора рисков  $v_T(\cdot) \in V(\overline{0, T})$ .

Следует отметить, что общая схема решения сформулированной задачи базируется на результатах из работы [7] и сводится к реализации решений конечного числа задач линейного и выпуклого математического программирования, а также задачи дискретной оптимизации. Разработанные на ее основе алгоритмы предоставляют возможность разрабатывать эффективные численные методы, позволяющие реализовать компьютерное моделирование решения задачи УИПП АПК. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. Витлинский В. В. Обзор методов количественной оценки влияния рисков в агропромышленном производ-

стве / В. В. Витлинский, В. А. Бабенко // Ринкова трансформація економіки : збірник наукових праць. Вип. 14. – Харків : ХІБМ, 2012. – 324 с. – С. 78 – 87.

2. Бабенко В. А. Методика экономико-математического моделирования оптимизации управления инновационными процессами на предприятиях АПК / В. А. Бабенко // Modeling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems / Proceedings of the Ninth International Scientific School MASR – 2011 (Saint-Petersburg, Russia, June, 28 – July 02, 2011) / SPb.: SUAI, SPb., 2011. 426 p. – P. 231 – 236.

3. Бабенко В. А. Теоретические аспекты и методические подходы к оценке влияния природных рисков на производство сельскохозяйственной продукции / В. А. Бабенко // Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки). – Мелітополь. – 2010. – № 3 (11). – С. 62 – 69.

4. Базара М. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы / М. Базара, К. Шетти. – М.: Изд-во «Мир», 1982. – 584 с.

5. Красовский Н. Н. Теория управления движением / Н. Н. Красовский. – М.: Наука, 1968. – 476 с.

6. Тер-Крикоров А. М. Оптимальное управление и математическая экономика / А. М. Тер-Крикоров. – М.: Наука, 1987. – 216 с.

7. Шориков А. Ф. Минимаксное оценивание и управление в дискретных динамических системах / А. Ф. Шориков. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1997. – 242 с.

## REFERENCES

Babenko, V. A. "Metodika ekonomiko-matematicheskogo modelirovaniia optimizatsii upravleniia innovatsionnymi protsessami na predpriiatiakh APK" [Methods of economic and mathematical modeling to optimize the management of innovation processes in enterprises of AIC]. *Modeling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems*. Saint-Petersburg: SUAI, 2011. 231-236.

Babenko, V. A. "Teoretycheskiye aspekty y metodicheskiye podkhody k otsenke vliyaniya pryrodnykh ryskov na proyzvodstvo selskokhoziaistvennoi produktsyy" [Theoretical aspects and methodological approaches to the assessment of the impact of natural hazards on agricultural production]. *Zbirnyk naukovykh prats TDATU (ekonomichni nauky)*, no. 3(11) (2010): 62-69.

Bazara, M., and Shetti, K. *Nelineynoe programmirovaniye. Teoriia i algoritmy* [Nonlinear Programming. Theory and Algorithms]. Moscow: Mir, 1982.

Krasovskiy, N. N. *Teoriia upravleniia dvizheniem* [The theory of motion control]. Moscow: Nauka, 1968.

Shorikov, A. F. *Minimaksnoye otsenivaniye i upravleniye v diskretnykh dinamicheskikh sistemakh* [Minimax estimation and control in discrete dynamical systems]. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 1997.

Ter-Krikorov, A. M. *Optimalnoye upravleniye i matematicheskaya ekonomika* [Optimal control and mathematical economics]. Moscow: Nauka, 1987.

Vytlynskiy, V. V., and Babenko, V. A. "Obzor metodov kolychestvennoi otsenky vliyaniya ryskov v ahropromyshlennom proyzvodstve" [Review of methods to quantify the effect of risks in agricultural production]. *Rynkova transformatsiia ekonomiky*, no. 14 (2012): 78-87.